

氏 名	濱岡 弘二
学 位 の 種 類	博士（工学）
学 位 記 番 号	博甲第1009号
学位授与の日付	平成20年3月22日
学位授与の要件	課程博士(学位規則第4条第1項)
学位授与の題目	プレテンション PC 部材の高性能化に関する研究
論文審査委員（主査）	前川 幸次（自然科学研究科・教授）
論文審査委員（副査）	梶川 康男（自然科学研究科・教授），近田 康夫（自然科学研究科・教授）， 五十嵐 心一（自然科学研究科・教授），松田 浩（長崎大学・教授）

Steel makers have developed a new class of prestressing strands with 15-20% higher strength than conventional products in terms of both yield strength and tensile strength. The development of ultra-high strength prestressing strands increases freedom in the PC cable arrangement, and when used in combination with high strength concrete, ultra-high strength prestressing strands are expected to result in high-performance of prestressed concrete structures, particularly pretensioned PC members.

It is expected that the high-performance pretensioned PC members can be developed with a combination of ultra-high strength prestressing strands and high strength concrete or HFA aggregate concrete which can be expected high strength and light weight. In this study, a design study is carried out on the effects of applying ultra-high strength prestressing strands to PC bridges, and an experimental investigation on the applicability issues is conducted by performing prestressing tests and bending loading tests with pretensioned PC beams using ultra-high strength prestressing strands.

As a result, it is found that the ultra-high strength prestressing strands specified as 1S15.2 and indented 1S21.8 can be used as prestressing strands for pretensioned system, and that high-performance of pretensioned PC members become possible by applying these strands to high strength concrete or HFA aggregate concrete.

1. 研究の目的

近年、コンクリート構造物を構成する材料の高性能化が進む中、石炭灰を主原料とする高強度軽量フライアッシュ人工骨材（HFA 骨材）と、従来使用されている PC 鋼より線（普通 PC 鋼より線：NSP）と比較して、1S15.2 で 20%，1S21.8 で 15% 程度高強度化された PC 鋼より線（高張力 PC 鋼より線：USP）が開発された。HFA 骨材を使用したコンクリートは、高強度（圧縮強度 100N/mm² 程度）かつ軽量（単位容積質量 2.15kg/ℓ 程度）であり、PC 構造物に十分使用可能であることが確認されている。また、高張力 PC 鋼より線については、その諸特性が PC 鋼材として必要な特性を満足することが確認されている。

PC 鋼より線の高強度化は、PC ケーブル配置の自由度を増し、高強度または HFA 骨材コンクリートと相まって、プレテンション PC 部材の高性能化に繋がることが期待される。しかし、プレテンション工法ではコンクリート部材へのプレストレス導入が、コンクリートと PC 鋼材の付着によって行われるため、高張力 PC 鋼より線の付着性能の解明が必要となる。

本研究は、試設計により高張力 PC 鋼より線を PC 橋に適用した場合の優位性について検

討するとともに、1S15.2 および 1S21.8 高張力 PC 鋼より線をプレテンション方式に適用する際の付着性能を各種実験により明らかにし、高強度コンクリートおよび HFA 骨材コンクリートと組み合わせることにより、プレテンション部材の高性能化を目指したものである。

2. 高張力 PC 鋼より線を使用した PC 橋の試設計

1S15.2 高張力 PC 鋼より線の適用効果を検証するため、プレテンション方式 PC 単純中空床版橋（桁長 24.7m、支間 24.0m、車道幅員 9.5m、斜角 90°、B 活荷重）について試設計を実施した。試設計の種類を表-1 に示す。なお、試設計は設計荷重および終局荷重作用時

表-1 試設計種類

記 号	PC鋼より線の種類	コンクリートの種類	設計基準強度
NS50	NSP	普通骨材	50N/mm ²
US50	USP		
NS80	NSP		
US80	USP		
UH80	USP	HFA骨材	80N/mm ²

表-2 試設計結果

記 号	桁 高		桁重量	
	(mm)	(%)	(kN)	(%)
NS50	1000	100.0	251.9	100.0
US50	900	90.0	234.5	93.1
NS80	825	82.5	211.8	84.1
US80	725	72.5	194.1	77.1
UH80	725	72.5	170.5	67.7

に部材が安全である最低桁高を目標に実施した。

表-2 に桁高、桁重量に関する結果を示す。設計基準強度 50N/mm² および 80N/mm² に高張力 PC 鋼より線を適用した US50 および US80 は、普通 PC 鋼より線を適用した NS50 および NS80 と比較すると、桁高で 100mm、桁重量で 17kN 程度の低減効果がある。普通 PC 鋼より線使用の場合、PC 鋼材配置スペースの関係から桁高および桁重量の低減は限界となっている。高張力 PC 鋼より線を適用することにより、普通 PC 鋼より線と同一のプレストレス力を得るための鋼材本数が減少して配置が可能となり、桁高および桁重量の低減に繋がっている。また、高張力 PC 鋼より線と HFA 骨材コンクリートを併用することで、高張力 PC 鋼より線のみの場合と比較して、更なる桁重量の低減効果がある。

3. 1S15.2 高張力 PC 鋼より線のプレテンション工法への適用に関する検討

供試体の一覧を表-3 に、供試体の形状寸法を図-1 に示す。PC 鋼より線は 2 本配置とし、鋼材間隔は実際のプレテンション桁の最小鋼材間隔である 61.25mm とした。

本研究では、1S15.2 高張力 PC 鋼より線を使用した PC 梁により、3 種類の実験（定着長測定実験、PC 鋼より線応力度変化測定実験、曲げ載荷実験）を行い、1S15.2 高張力 PC 鋼より線の付着特性について検討した。

表-3 供試体一覧

供試体名	PC鋼より線の種類	コンクリートの種類	設計基準強度 (N/mm ²)
NS50	NSP	砕石骨材	50
US50	USP		80
US80			
UH80		HFA骨材	

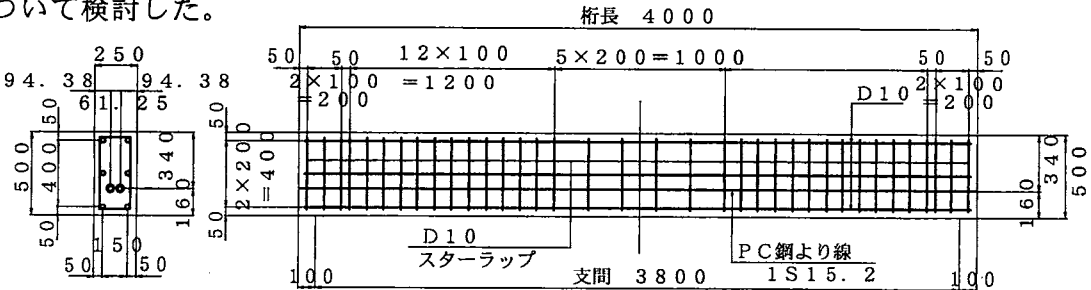


図-1 供試体形状寸法

単位：mm

定着長測定実験結果の一覧を表-4 に示す。高張力 PC 鋼より線を使用した US50 の導入直後の定着長は 33φ（φは PC 鋼材直径）であり、道路橋示方書の規定（65φ）以下である。また、導入直後から引き込みが完全に終了した 48 時間後の定着長も 38φであり、これも道路橋示方書の規定以下である。これらの結果から、導入緊張力が 20%程度大きくできる高張力 PC 鋼より線を使用した場合でも道路橋示方書の規定が、および鋼材間隔も実際のプレテンション桁の最小鋼材間隔が適用できると考えられる。

PC 鋼より線応力度変化測定結果の一覧を表-5 に示す。導入 30 日後の PC 鋼より線応力度の計算値は、道路橋示方書に則った算出方法とした。この結果より、プレストレス導入 30 日後の PC 鋼より線応力度は、全ての供試体で計算値以上であり、また両者の比率も良く一致した結果となっており、高張力 PC 鋼より線を適用したプレテンション桁でも、有効プレストレスは道路橋示方書に則って算出可能であることが判明した。

表-4 定着長測定結果一覧

供試体名	導入直後の定着長 (mm)	48時間後の定着長 (mm)
NS50	731 (48φ)	879 (58φ)
US50	496 (33φ)	578 (38φ)
US80	439 (29φ)	483 (32φ)
UH80	437 (29φ)	490 (32φ)

表-5 PC 鋼より線応力度変化測定結果一覧

供試体名	導入直後のPC 鋼材応力度 (N/mm ²)	導入30日後のPC鋼材応力度		
		計算値(A) (N/mm ²)	実測値(B) (N/mm ²)	B/A (%)
NS50	1234.9	1189.9	1197.2	100.6
US50	1428.1	1376.8	1399.4	101.6
US80	1364.9	1319.4	1336.9	101.3
UH80	1310.3	1262.1	1300.5	103.0

表-6 曲げ載荷実験結果一覧

供試体名	載荷実験時の条件		ひび割れ発生荷重			破壊荷重		
	圧縮強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (×10 ⁴ N/mm ²)	計算値 (A) (kN)	実測値 (B) (kN)	B/A	計算値 (C) (kN)	実測値 (D) (kN)	C/D
NS50	53.2	3.08	119.6	128	1.07	259.4	330	1.27
US50	54.4	3.09	132.5	160	1.21	294.8	375	1.27
US80	89.2	3.78	145.9	150	1.03	312.9	413	1.32
UH80	99.9	2.88	147.3	140	0.95	316.2	400	1.27

曲げ載荷実験結果の一覧を表-6 に示す。UH80 はひび割れ発生荷重の実測値が、計算値を若干下回る結果となったが、破壊荷重は全ての供試体で実測値が計算値を 20%強上回っており、終局時まで平面保持の仮定が成立し、PC 鋼より線とコンクリートは一体となって挙動していると考えられる。

4. 三層式高張力 PC 鋼より線（1S21.8）のプレテンション工法への適用に関する検討

1S21.8PC 鋼より線は三層構造で、1S15.2 の二層構造とより線の構成が異なることから、1S21.8 高張力 PC 鋼より線を使用した PC 梁により、1S15.2 と同じ 3 種類の実験を行い、1S21.8 高張力 PC 鋼より線の付着特性について検討した。供試体の一覧を表-7 に示す。表中にある (I) はインデント加工を意味し、インデント加工とはコンクリートとの付着性を

表-7 供試体一覧

供試体名	PC鋼より線の種類	コンクリートの種類	設計基準強度 (N/mm ²)
NS50	NSP	砕石骨材	50
US50	USP		
US50 (I)			
US80			
UH80		HFA骨材	80

向上させるために、素線にくぼみを付けたものである。なお、1S21.8を用いた供試体の桁長は5.0mとし、PC鋼より線を供試体下面から130mmの位置に一本配置した。

定着長測定実験結果の一覧を表-8に示す。高張力PC鋼より線を使用したUS50の導入直後および48時間後の定着長は、それぞれ76φおよび90φであり、道路橋示方書の規定を上回る結果であった。さらに、US50は48時間以降も引き込み量が大きくなっており、引き込み終了時の定着長はさらに大きくなると考えられる。インデント加工された高張力PC鋼より線を使用したUS50(I)の導入直後および48時間後の定着長は、それぞれ32φおよび35φであり、引き込みも40時間程度で終了しており、道路橋示方書の規定が適用できると考えられる。

表-8 定着長測定結果一覧

供試体名	導入直後の定着長 (mm)	48時間後の定着長 (mm)
NS50	1101(51φ)	1149(53φ)
US50	1648(76φ)	1957(90φ)
US50(I)	707(32φ)	764(35φ)
US80	970(44φ)	1196(55φ)
UH80	922(42φ)	1035(47φ)

PC鋼より線応力度変化測定結果から、1S21.8高張力PC鋼より線のプレストレス導入後のプレストレス量の損失は、1S15.2と同様、道路橋示方書に則って算出可能であることが判明した。また、曲げ載荷実験結果から、1S21.8高張力PC鋼より線を使用した供試体は、普通PC鋼より線を使用したものと同等以上の曲げ剛性を有していることが確認された。しかし、図-2および図-3に示すように、US50は計算破壊荷重前に引き込みが始まり、芯線の引き込み量は側線より大きく、3層は一体となって挙動していないことが判明した。

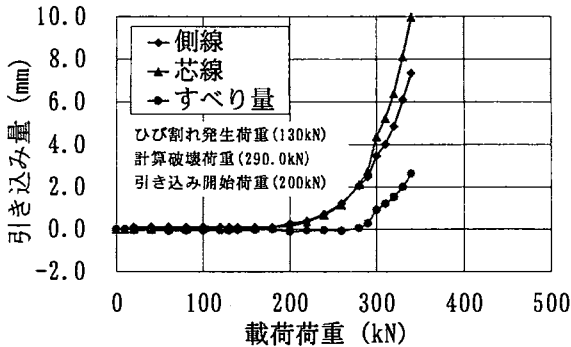


図-2 載荷荷重と引き込み量の関係(US50)

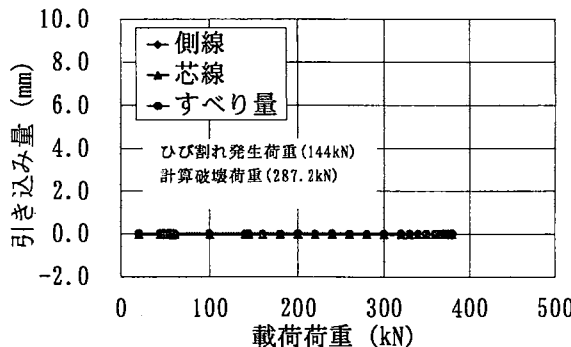


図-3 載荷荷重と引き込み量の関係(US50(I))

5. まとめ

1S15.2高張力PC鋼より線を使用した試設計結果から、プレテンション方式PC単純中空床版橋の主ケーブルに高張力PC鋼より線を適用することで、桁高および桁重量の低減が図れることが判明した。また、高強度コンクリートに高張力PC鋼より線を適用することで、更なる桁高および桁重量の低減が可能となる。さらに、高張力PC鋼より線とHFA骨材コンクリートとを併用することで、桁重量の低減効果が大きくなった。

高張力PC鋼より線のプレテンション工法への適用に関する検討結果から、1S15.2高張力PC鋼より線は、普通PC鋼より線と同様な方法でプレテンション用PC鋼材として使用できることが判明した。しかし、無加工の1S21.8高張力PC鋼より線は、プレテンション用PC鋼材としては使用不可であり、インデント加工を施すことで使用可能となることが判明した。

以上の結果から、高張力PC鋼より線と高強度コンクリート、またはHFA骨材コンクリートとの組み合わせによって、プレテンションPC部材の高性能化に繋がると考えられる。

学位論文審査結果の要旨

本学位申請論文に対して、平成 20 年 1 月 31 日開催の第 1 回審査委員会において面接および口頭試問を行い、論文内容および素養について審査を行った。さらに、2 月 4 日開催の口頭発表会（公聴会）と第 2 回審査委員会において協議を行い、以下の結論を得た。

本論文は、近年開発された超高張力鋼より線の性能を有効に利用するために、高強度コンクリートあるいは高強度フライアッシュ人工骨材（HFA）コンクリートとの組み合わせによるプレテンション PC 部材の高性能化を目指し、それに伴って予測された諸問題についての工学的な検討を行っている。まず、HFA コンクリートの材料特性および PC 橋への適用による施工性の検討を行っている。次に、より線構造の異なる 2 種類の超高張力鋼より線（1S15.2 および 1S21.8）と数種の高強度コンクリートを組み合わせた種々のプレテンション PC はりについて定着長実験および曲げ載荷実験を行い、プレテンション方式が成立するための基本となる PC 鋼より線とコンクリートとの付着性能についての検討と提案を行っている。それらの成果は、学術雑誌への掲載および国際会議での口頭発表が行われている。本論文の知見は、桁高および桁重量を低減して景観性や耐震性の向上につながるプレテンション PC 部材の高性能化に大きく寄与するものである。よって、本論文は博士（工学）の授与に値するものと判定する。